

MAGNETIC RECORDING MEDIUM, METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME, AND MAGNETIC RECORDING DEVICE

Patent number: JP2003296925

Publication date: 2003-10-17

Inventor: DAVID JAYAPURAWIRA; DOMON HIROKI;
YOSHIMURA SATORU; TAKAHASHI KEN

Applicant: TAKAHASHI KEN; ANELVA CORP; FUJI ELECTRIC
CO LTD; ULVAC CORP; SHOWA DENKO KK

Classification:

- **International:** **G11B5/66; G11B5/851; G11B5/66; G11B5/84;** (IPC1-7):
G11B5/84; G11B5/64; G11B5/66; G11B5/673;
G11B5/738

- **European:** G11B5/66; G11B5/851

Application number: JP20020096582 20020329

Priority number(s): JP20020096582 20020329

Also published as:



WO03083843 (A1)



US2005214584 (A)

BEST AVAILABLE COPY

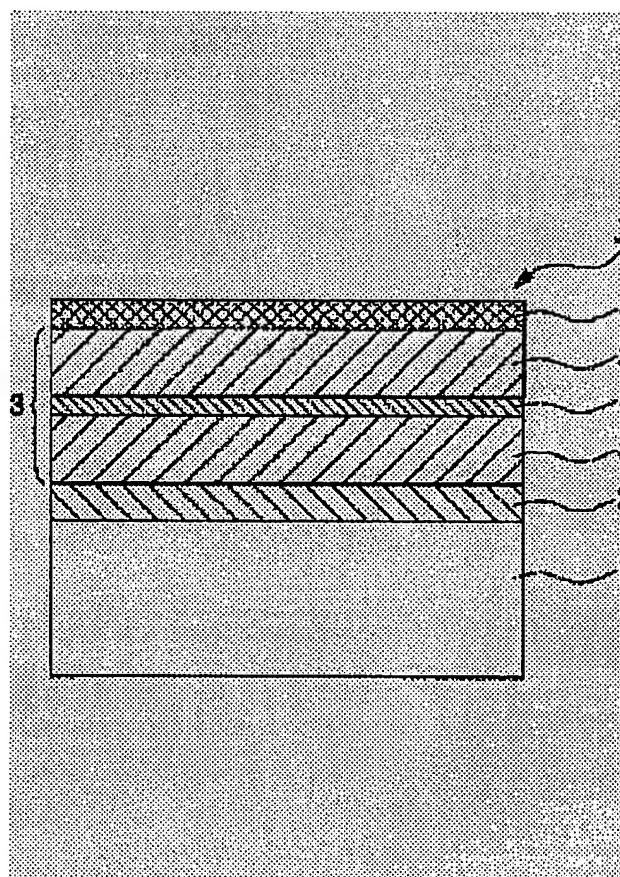
Report a data error here

Abstract of JP2003296925

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for manufacturing a magnetic recording medium having a flat surface, a high shift magnetic field and excellent thermal stability.

SOLUTION: The method for manufacturing the magnetic recording medium 10 includes successive laminating of a nonmagnetic substrate 1, a metallic ground surface layer 2 and ferromagnetic metallic layers 3, in which the process step of depositing the layers 3 is formed as a process step of alternately laminating a plurality of ferromagnetic films 3a and 3b and one or more nonmagnetic metallic spacer layers 4 and includes a process step of physically adsorbing oxygen and/or nitrogen on at least the boundary of the spacer layers 4.

COPYRIGHT: (C)2004,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-296925

(P2003-296925A)

(43) 公開日 平成15年10月17日 (2003. 10. 17)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード (参考)
G 1 1 B	5/84	G 1 1 B	5/84
	5/64		5/64
	5/68		5/68
	5/673		5/673
	5/738		5/738
			Z 5 D 0 0 6
			5 D 1 1 2
審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 12 頁)			

(21) 出願番号 特願2002-96582(P2002-96582)

(22) 出願日 平成14年3月29日 (2002. 3. 29)

(71) 出願人 592259129

高橋 研

宮城県仙台市太白区人來田2丁目20-2

(71) 出願人 000227294

アネルバ株式会社

東京都府中市四谷5丁目8番1号

(71) 出願人 000005234

富士電機株式会社

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

(74) 上記4名の代理人 100075168

弁理士 山口 巖 (外2名)

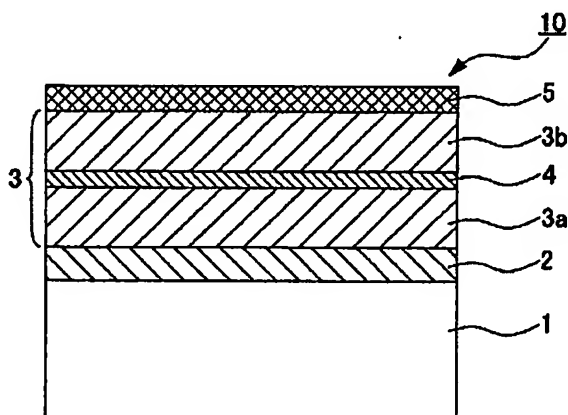
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気記録媒体、その製造方法および磁気記録装置

(57) 【要約】

【課題】 表面が平坦であって、高いシフト磁界を有するとともに、熱的な安定性に優れた磁気記録媒体を製造する方法を提供する。

【解決手段】 本発明に係る磁気記録媒体の製造方法は、非磁性基体1と、金属下地層2と、強磁性金属層3とを順に積層して含む磁気記録媒体10の製造方法であって、前記強磁性金属層3を成膜する工程が、複数の強磁性膜3a、3bと、一以上の非磁性金属スペーサ層4とを交互に積層する工程とされ、前記非磁性金属スペーサ層4の少なくとも界面に、酸素及び／又は窒素を物理的に吸着させる工程を含むことを特徴としている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 非磁性基体と、金属下地層と、強磁性金属層とを順に積層してなる磁気記録媒体の製造方法であって、

前記強磁性金属層を成膜する工程が、複数の強磁性膜と、一以上の非磁性金属スペーサ層とを交互に積層する工程とされ、

前記非磁性金属スペーサ層の少なくとも界面に、酸素及び／又は窒素を物理的に吸着させる工程を含むことを特徴とする磁気記録媒体の製造方法。

【請求項2】 前記酸素及び／又は窒素が、非磁性金属スペーサの膜中に含まれるように前記非磁性金属スペーサ層を成膜することを特徴とする請求項1に記載の磁気記録媒体の製造方法。

【請求項3】 前記非磁性金属スペーサ層の成膜に用いるガスが、Ar又はそれ以外の希ガスに、酸素または窒素を混合してなる混合ガスであることを特徴とする請求項1又は2に記載の磁気記録媒体の製造方法。

【請求項4】 前記混合ガスに含まれる酸素又は窒素の分圧を、 10^{-7} Torr以上 10^{-3} Torr以下とすることを特徴とする請求項3に記載の磁気記録媒体の製造方法。

【請求項5】 前記混合ガスに含まれる酸素又は窒素の分圧を、 3×10^{-6} Torr以上 3×10^{-4} Torr以下とすることを特徴とする請求項4に記載の磁気記録媒体の製造方法。

【請求項6】 前記非磁性金属スペーサ層の少なくとも界面に、酸素及び／又は窒素を物理的に吸着させる工程が、酸素及び／又は窒素を含む雰囲気、前記非磁性金属スペーサ層の表面を曝露する工程であることを特徴とする請求項1ないし5のいずれか1項に記載の磁気記録媒体の製造方法。

【請求項7】 前記非磁性金属スペーサ層表面の酸素暴露量を、 10 ラングミュア以上とすることを特徴とする請求項6に記載の磁気記録媒体の製造方法。

【請求項8】 前記非磁性金属スペーサ層として、Ru、Ir、Cu、Osから選ばれる1種以上の元素を含む金属膜を成膜することを特徴とする請求項1ないし7のいずれか1項に記載の磁気記録媒体の製造方法。

【請求項9】 前記非磁性金属スペーサ層の膜厚を、 0.5 nm以上 1.0 nm以下とすることを特徴とする請求項1ないし8のいずれか1項に記載の磁気記録媒体の製造方法。

【請求項10】 非磁性基体と、金属下地層と、強磁性金属層とを順に積層して含む磁気記録媒体であって、前記強磁性金属層が、複数の強磁性膜と、該強磁性膜の間に形成された非磁性金属スペーサ層とを含み、前記強磁性金属層のシフト磁界 H_{sh} が、 1000 Oe以上とされたことを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項11】 前記強磁性金属層のシフト磁界H

が、 1500 Oe以上とされたことを特徴とする請求項10に記載の磁気記録媒体。

【請求項12】 非磁性基体と、金属下地層と、強磁性金属層とを順に積層して含む磁気記録媒体であって、前記強磁性金属層が、複数の強磁性膜と、該強磁性膜の間に形成された非磁性金属スペーサ層とを含み、

前記非磁性金属スペーサ層が、Ru、Ir、Cu、Osから選ばれる1種以上の元素を含む金属膜からなり、少なくとも前記非磁性スペーサ層と前記強磁性膜との界面に、酸素及び／又は窒素が物理的に吸着されていることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項13】 前記非磁性金属スペーサ層の膜厚が、 0.5 nm以上 1.0 nm以下とされたことを特徴とする請求項10ないし12のいずれか1項に記載の磁気記録媒体。

【請求項14】 請求項10ないし13のいずれか1項に記載の磁気記録媒体と、該磁気記録媒体を駆動するための駆動部と、磁気情報の記録再生を行うための磁気ヘッドとを備え、移動する前記磁気記録媒体に対して前記磁気ヘッドにより磁気情報の記録再生を行うことを特徴とする磁気記録装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気記録媒体、その製造方法および磁気記録装置に係り、より詳細には、高いシフト磁界を有する積層フェリ磁気記録媒体およびその製造方法と、この磁気記録媒体を備えた磁気記録装置に関するもので、本発明に係る磁気記録媒体は、ハードディスク、磁気テープなどに好適に用いられる。

【0002】

【従来の技術】近年、磁気記録媒体は、高密度で大容量な記録媒体としてハードディスク装置等で多用されているが、更なる高密度化を図るためにその記録再生特性の向上と磁化経時変化の低減の両立が求められている。図11と図12は、磁気記録媒体の一例であるハードディスクを示す概略図である。図11は、円盤型の磁気記録媒体の斜視図であり、図12は図11に示すA-A線に沿う模式断面図である。図11に示す磁気記録媒体90は、図12に示すように円盤型の非磁性体からなる基体91と、この基体91上に形成された金属下地層93と強磁性金属層95と保護層96とを備えて構成されている。

【0003】この例の磁気記録媒体90では、非磁性体からなる基体91として例えばAl合金またはガラスからなる基板92の表面上にNi-Pからなる非磁性層93を設けてなるものが用いられている。そして、この基体91の上には、例えばCrからなる金属下地層94、CoCrTaあるいはCoCrTaPtなどからなる磁性膜の強磁性金属層95、カーボンなどからなる保護層96が順次積層されている。典型的な各層の厚さは、非

磁性(Ni-P)層93が $5\mu\text{m}\sim 15\mu\text{m}$ 、金属(Cr)下地層94が $50\text{nm}\sim 150\text{nm}$ 、強磁性金属層95が $30\text{nm}\sim 100\text{nm}$ 、保護層96が $20\text{nm}\sim 50\text{nm}$ である。尚、保護層96上には、図示されないが、パーフルオロポリエーテルなどのフッ素系の潤滑剤などが被覆されることもある。

【0004】上記構成の磁気記録媒体において記録再生特性を向上させるためには、強磁性金属層95として機能する磁性膜を構成する磁性結晶粒子の粒間相互作用の低減、並びに磁性膜の膜厚の低減が必要不可欠であること

が、本発明者らにより報告されている。(M.Takahashi, A.Kikuchi and S.Kawakita:IEEE Trans. On Magn., 33, 2938(1997))
特に、媒体の低ノイズ化を図るためには、強磁性金属層95をなす膜厚を低減することにより、磁性膜を構成する磁性結晶粒子を微細化させることが有効な手法の一つとして同文献で紹介されている。

【0005】強磁性金属層95をなす磁性膜の薄膜化による、微細組織形成や、磁性粒子の体積低減には限界がある。なぜならば、強磁性金属層95をなす磁性膜の膜厚の低減に伴い、磁性膜を構成する結晶粒子は微細化し、磁性膜に記録された磁化(残留磁化)等の磁気特性が経時的に大きく変化してしまうという問題、すなわち熱擾乱の影響を受けやすくなるという問題が生じるためである。

【0006】そこで、磁気記録媒体の熱擾乱を抑制するために、二層以上の強磁性金属層間に厚さが 0.7nm 程度の非磁性金属中間層(Ru)を挿入することによって、残留磁化において最隣接強磁性層の磁化が反平行状態になる、いわゆる積層フェリ磁気記録媒体が考案された。(E. N. Abarrra, A. Inomata, H. Sato, I. Okamoto, and Y. Mizoshita:Appl. Phys. Lett., 77, 2581(2000))

このような積層フェリ媒体においては、強磁性層間に非磁性スペーサ層を挿入することで発生するシフト磁界により、磁気記録媒体の経時変化を抑制できることが有効な手法の一つとして同文献で紹介されている。

【0007】しかしながら、高記録密度化に伴い磁気記録媒体に記録される磁化パターンはさらに小型化すると考えられており、これに対応するため、シフト磁界の向上が求められている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、表面が平坦であって、高いシフト磁界を有するとともに、熱的な安定性に優れた磁気記録媒体を製造する方法を提供することを目的の1つとする。本発明は、上述の特性を有する磁気記録媒体を提供することを目的の1つとする。本発明は、上述の優れた特性を有する磁気記録媒体を備える磁気記録装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明に係る磁気記録媒体の製造方法は、非磁性基体と、金属下地層と、強磁性金属層とを順に積層してなる磁気記録媒体の製造方法であって、前記強磁性金属層を成膜する工程が、複数の強磁性膜と、一以上の非磁性金属スペーサ層とを交互に積層する工程とされ、前記非磁性金属スペーサ層の少なくとも界面に、酸素及び/又は窒素を物理的に吸着させる工程を含むことを特徴としている。上記製造方法によれば、強磁性金属層が、非磁性金属スペーサ層により複数の強磁性膜に分割された積層フェリ磁気記録媒体におけるシフト磁界を高めることができ、優れた熱的安定性を有する磁気記録媒体を容易に製造することができる。

【0010】また、上記本発明に係る磁気記録媒体の製造方法においては、前記酸素及び/又は窒素が、非磁性金属スペーサの膜中に含まれるように前記非磁性金属スペーサ層を成膜することもできる。

【0011】次に、本発明に係る磁気記録媒体の製造方法は、前記非磁性金属スペーサ層の成膜に用いるガスが、Ar又はそれ以外の希ガスに、酸素または窒素を混合してなる混合ガスであることを特徴とする。上記製造方法によれば、容易に非磁性金属スペーサ層と強磁性膜との界面に酸素及び/又は窒素を物理的に吸着させることができ、かつそれらの吸着量を精度良く制御することができるので、熱的な安定性に優れた磁気記録媒体を、安定に製造することが可能である。

【0012】次に、本発明に係る磁気記録媒体の製造方法は、前記混合ガスに含まれる酸素または窒素の分圧を、 10^{-7}Torr 以上 10^{-3}Torr 以下の範囲とすることを特徴とする。混合ガス中の酸素又は窒素の分圧を上記範囲とすることで、熱的安定性に優れるとともに、優れた磁気特性を有する磁気記録媒体を製造することができる。前記分圧が 10^{-7}Torr ($=133\times 10^{-7}\text{Pa}$)未満の場合には、 H_{ex} が小さくなる傾向にあり、 10^{-3}Torr ($=133\times 10^{-3}\text{Pa}$)を越える場合には、保磁力 H_c が低減する傾向にあるため、高 H_{ex} と、高 H_c を両立し得る範囲として上述の分圧範囲とした。

【0013】また、上記製造方法においては、前記混合ガスに含まれる酸素又は窒素の分圧を、 $3\times 10^{-6}\text{Torr}$ 以上 $3\times 10^{-3}\text{Torr}$ 以下とすることがより好ましい。係る範囲に酸素分圧を設定することで、 1500Oe 以上の高いシフト磁界 H_{ex} を得ることができ、優れた熱的安定性を得ることができる。

【0014】次に、本発明に係る磁気記録媒体の製造方法は、前記非磁性金属スペーサ層の少なくとも界面に、酸素及び/又は窒素を物理的に吸着させる工程が、酸素及び/又は窒素を含む雰囲気、前記非磁性金属スペーサ層の表面を曝露する工程であることを特徴とする。上記製造方法によっても、上記非磁性金属スペーサ層と強

磁性膜との界面に、容易に酸素及び／又は窒素を物理的に吸着させることができる。

【0015】次に、本発明に係る磁気記録媒体の製造方法においては、前記非磁性金属スペーサ層表面の酸素暴露量を、10ラングミュア以上とすることが好ましい。上記非磁性金属スペーサ層表面の酸素暴露量を上記範囲とすることで、熱的安定性に優れた磁気記録媒体を製造することができる。この酸素暴露量が10ラングミュア未満の場合には、熱的安定性を向上させる効果を十分に得られない。

【0016】次に、本発明に係る磁気記録媒体の製造方法においては、前記非磁性金属スペーサ層として、Ru、Ir、Cu、Osから選ばれる1種以上の元素を含む金属膜を成膜することが好ましい。上記元素を含む合金により非磁性金属スペーサ層を構成することで、強磁性膜のシフト磁界を増大させることができ、もって媒体の熱的安定性を大きく向上させることができる。

【0017】次に、本発明に係る磁気記録媒体の製造方法においては、前記非磁性金属スペーサ層の膜厚を、0.5nm以上1.0nm以下とすることが好ましい。

【0018】次に、本発明は、上記課題を解決するために、非磁性基体と、金属下地層と、強磁性金属層とを順に積層してなる磁気記録媒体であって、前記強磁性金属層が、複数の強磁性膜と、該強磁性膜の間に形成された非磁性金属スペーサ層とを含み、前記強磁性金属層のシフト磁界 H_{sx} が、1000Oe以上とされたことを特徴とする磁気記録媒体を提供する。上記構成によれば、非磁性金属スペーサ層により分離された強磁性膜間に作用する高いシフト磁界 H_{sx} により熱的安定性に優れた磁気記録媒体を実現することができる。さらに、本発明に係る磁気記録媒体は、前記シフト磁界 H_{sx} を1500Oe以上とすることもでき、より熱的安定性に優れた磁気記録媒体を提供することができる。

【0019】次に、本発明に係る磁気記録媒体は、非磁性基体と、金属下地層と、強磁性金属層とを順に積層して含む磁気記録媒体であって、前記強磁性金属層が、複数の強磁性膜と、該強磁性膜の間に形成された非磁性金属スペーサ層とを含み、前記非磁性金属スペーサ層が、Ru、Ir、Cu、Osから選ばれる1種以上の元素を含む金属膜からなり、少なくとも前記非磁性スペーサ層と前記強磁性膜との界面に、酸素及び／又は窒素が物理的に吸着されていることを特徴としている。

【0020】次に、本発明に係る磁気記録媒体においては、前記非磁性金属スペーサ層の膜厚が、0.5nm以上1.0nm以下とされることが好ましい。

【0021】本発明に係る磁気記録装置は、先に記載の磁気記録媒体と、該磁気記録媒体を駆動するための駆動部と、磁気情報の記録再生を行うための磁気ヘッドとを備え、移動する前記磁気記録媒体に対して前記磁気ヘッドにより磁気情報の記録再生を行うことを特徴とする。

上記構成の磁気記録装置によれば、高速回転するスピンドルや制御チップ等の発熱により加熱された状態で長時間使用しても磁気特性に劣化を生じることのない、優れた信頼性を有する磁気記録装置を提供することができる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図1及び図2は本発明に係る磁気記録媒体をコンピュータのハードディスクに適用した一実施形態の断面構造を模式的に示すもので、図1に示す磁気記録媒体10は、円盤状の非磁性体からなる基体1上に、金属下地層2を介して、強磁性金属層3と、保護層5とを積層してなる構造とされている。そして、前記強磁性金属層3は、金属下地層2側から、第1の強磁性膜3a、非磁性金属スペーサ層4、第2の強磁性膜3bを順に積層した構造とされている。この種の構造を有する磁気記録媒体は、一般に、積層フェリ磁気記録媒体と呼ばれている。また、図1に示す本実施形態の磁気記録媒体10の積層構造は、本発明に係る磁気記録媒体の最も基本的な構造であるので、基体1と第1の強磁性膜3aとの間に他の中間層を必要に応じて設けた構成としても良く、図2に示す磁気記録媒体20のように、図1に示す磁気記録媒体10と同様の基本構造を有し、強磁性金属層3が、第1の強磁性膜3aと、非磁性金属スペーサ層4aと、第2強磁性膜3bと、非磁性金属スペーサ層4bと、第3強磁性膜3cとを順に積層した構成としても良い。すなわち、強磁性金属層3の構造は、複数の強磁性膜と、複数の非磁性金属スペーサ層とが交互に積層された構造とされていれば、その積層数に構成上の制限はない。また、保護層5の上にフッ素系の潤滑剤からなる潤滑層を設けても良いのは勿論である。

【0023】以下、図1を参照して本発明に係る磁気記録媒体の基本構成を備えた磁気記録媒体10をさらに詳細に説明する。

（基体）本発明に係る基体1としては、例えば、アルミニウムとその合金あるいは酸化物、チタンとその合金あるいは酸化物、またはシリコン、ガラス、カーボン、セラミック、プラスチック、樹脂およびそれらの複合体化からなる基板の表面に、異種材質の非磁性層をスパッタ法、蒸着法、メッキ法等の成膜法により、表面コーティング処理を行ったものを例示することができる。この場合に基体1の表面部に設けられた非磁性層は、高温で磁化せず、導電性を有し、機械加工などが施しやすい反面、適度な表面硬度を有していることが好ましい。このような条件を満たす非磁性材料の膜としては、特にメッキ法により作製されたNi-P膜が好ましい。

【0024】基体1の形状としては、ディスク用途の場合、ドーナツ円盤状のものが使われる。後述する強磁性金属層等を設けた基体、すなわち磁気記録媒体は、磁気記録および再生時、円盤の中心を軸として、例えば36

00rpm~15000rpmの速度で回転させて使用される。このとき、磁気記録媒体の表面又は裏面の上空を磁気ヘッドが0.1μm程度の高さ、あるいは数10nmの高さを持って浮上走行する。また、さらに低浮上量の10nm以下の高さで浮上走行する磁気ヘッドの開発もなされている。従って、基体1としては表面又は裏面の平坦性、表裏両面の平行性、基体円周方向のうねり、および表裏面の粗さが適切に制御されたものが望ましい。

【0025】また、基体が回転/停止する場合には、磁気記録媒体と磁気ヘッドの表面同士が接触、摺動するようになっている(Contact Start Stop:CSS)。この対策として、基体の表面には、略同心円状の軽微なキズ(テクスチャ)をダイヤモンドやアルミナなどの砥粒を含むスラリーやテープによる研磨により形成して磁気ヘッド接触時の吸着を防止する場合もある。

【0026】上記テクスチャについては、図12に示す従来構造の如くNi-Pの非磁性層93の上面にて研磨テープを摺動させてキズをつけることでV字溝型に形成することが一般的になされているので、本実施形態の構造においてもNi-P等からなる非磁性層1bの表面にテクスチャを形成しても良い。また、上記ヘッド摺動特性改善を目的としたテクスチャに代わるものとして、レーザ加工によるテクスチャや、スパッタリングによる離散的な凹凸膜テクスチャ、保護膜のエッチングによる凹凸型のテクスチャなどを形成した構造も知られているのでこれらの構造を採用し、非磁性層1bの上面に所望の形状の凹凸等を形成しても良いことはもちろんである。さらにまた、最近では磁気ヘッドを磁気記録媒体にロード/アンロードする方式で磁気記録媒体の停止中に磁気ヘッドを磁気記録媒体の外側に待機させるものも登場している。このような方式を採用するならば、場合によってはテクスチャを省略する構成も可能である。

【0027】また、上記テクスチャは、強磁性金属層の面内方向に磁気情報を記録する方式では特に重要な役割を担っており、基体1表面に略同心円状のテクスチャを形成することにより、基体1上に形成される金属下地層2の配向面を変化させ、結果として金属下地層2上に形成される強磁性金属層3の結晶粒を基体円周方向に配向させることができる。このテクスチャ処理による磁性結晶粒の配向制御は、記録再生時の磁気記録媒体の磁気特性や記録再生特性に大きく影響するので、磁性結晶粒の配向制御を目的とするテクスチャは、形成する溝の密度や、溝の深さの均一性を適切に制御することが好ましい。

【0028】(金属下地層)本実施形態の磁気記録媒体10の金属下地層2は、スパッタ法や蒸着法などにより順次積層形成した多層構造をなすものである。この金属下地層2の格子定数を制御することにより、金属下地層2上に形成される強磁性金属層3の保磁力を向上させる

ことができる。また、上記金属下地層2は、2層または3層以上の下地膜を積層した構成としてもよい。上記金属下地層2にはCrおよびCr合金を用いることが好ましい。合金とする場合には、例えば、Mo、W、Ti、V、Nb、Ta等との組み合わせが用いられ、特に、CrMo合金、CrW合金を用いることが好ましい。金属下地層2としてCrあるいはCr合金を用いることにより、金属下地層2上に形成される強磁性金属層3に対して偏析作用を起こさせることができる。この偏析作用により強磁性金属層3の結晶粒界に生じる高Cr濃度相によって強磁性金属層3の結晶粒間の磁気的な相互作用を抑えることができるので、媒体の規格化保磁力を高めることができる。また、金属下地層2上の強磁性金属層3の磁化容易軸(c軸)が基体面内方向を取るようにすることができる、すなわち、基体面内方向の保磁力を高める方向に強磁性金属層3の結晶成長を促すものである。

【0029】また、基体1としてガラス基板を用いる場合には、Ni-AlあるいはNi-Nbなどのシード層を金属下地層2と基体1との間に設けることが好ましい。このような構成とするならば、金属下地層2や強磁性金属層3の結晶粒が微細化されるので、磁気記録媒体の保磁力を高めることができるとともに、記録再生時のノイズ特性を向上させることができる。

【0030】CrやCr合金からなる金属下地層2をスパッタ法で成膜する場合、その結晶性を制御する因子としては、基体の表面形状(テクスチャの有無など)、表面状態、表面温度、成膜時の圧力、基体に印加するバイアス、および形成する膜厚等が挙げられる。後述する強磁性金属層3の保磁力は金属下地層であるCr膜やCr合金膜の膜厚にほぼ比例して高くなる傾向にあるが、膜厚の増加に伴って成膜面の表面粗さも増大する傾向になる。しかしながら、磁気記録媒体の記録密度を向上させるためには、磁気ヘッドの磁気記録媒体表面からの浮上量をできる限り小さくすることが求められる。従って、金属下地層2の膜厚が薄くても高い保磁力が得られるような材料を用いて金属下地層2は構成されることが望ましい。

【0031】(強磁性金属層)本発明で用いられる強磁性金属層3を構成する強磁性膜3aと3bはhcp構造を有する強磁性金属材料からなる層である。これらの強磁性膜3aと強磁性膜3bの膜厚は次の関係式になるように調整する。

$$B_r t_c = B_r t_b - B_r t_a$$

ここで、 $B_r t_c$ は媒体トータル(所望)の残留磁束密度、 $B_r t_b$ は強磁性金属層3bの残留磁束密度、 $B_r t_a$ は強磁性金属層3aの残留磁束密度であり、上記 $B_r t_c$ は、通常、上記磁気記録媒体と組み合わせて用いる磁気ヘッドの記録再生能力に応じて決定される。強磁性金属層3aと3bを構成する材料としては、Coを主成分とするCo基強磁性合金を用いることが好ましい。その具

体的な材料としては、例えばCoNiCr、CoCrTa、CoPt、CoCrPt、CoNiPt、CoNiCrTa、CoCrPtTa等を挙げることができる。また、これらの合金にB、N、O、Nb、Zr、Cu、Ge、Si等から選ばれる1種又は2種以上の元素を添加した合金を用いることもできる。尚、強磁性金属層3aの上または強磁性金属層3bの下に1nm程度の膜厚でCoを積層しても良い。

【0032】(非磁性金属スペーサ層)図3は、本発明に係る磁気記録媒体の磁化曲線の一例であり、図4は、本発明に係る磁気記録媒体10におけるシフト磁界 H_{sx} の導出方法を説明するための説明図である。積層フェリ媒体においては、図1に示す強磁性膜3aと強磁性膜3bの間に非磁性金属スペーサ層4を挟むことにより両者の間にRKKY交換相互作用 J_{sx} が生じ、この J_{sx} の存在により、強磁性膜3aに内部磁界が生じる。この内部磁界の向きは強磁性膜3bの磁化の向きと逆方向である。そのため、強磁性膜3aの保磁力が内部磁界よりも小さく、かつ、外部磁界が存在しない場合、強磁性膜3aと3bの磁化が反平行状態となる。従って、外部磁界が十分に大きい状態(図3のグラフの両端側)においては、強磁性膜3a、3bの磁化の向きはいずれも外部磁界の向きと同一方向となるが、外部磁界が0の状態では、強磁性膜3aの磁化の向きと、強磁性膜3bの磁化の向きが逆向きになる。ここで、上記強磁性膜3aに掛かる内部磁界をシフト磁界 H_{sx} と呼ぶことにする。このシフト磁界 H_{sx} は、図4に示すように、ある方向に媒体を飽和させた後その磁界を取り除き、そして逆方向の磁界を印加した際に、強磁性膜3aの磁化曲線が原点からシフトする量として導出することができる。本発明に係る磁気記録媒体においては、強磁性膜3aにかかる内部磁界であるシフト磁界 H_{sx} は、1000(Oe)以上とすることが好ましく、このような範囲とすることで、保磁力2000~4000Oeの媒体における熱的安定性を向上させることができ、信頼性に優れた磁気記録媒体とすることができる。より詳細には、上記保磁力の媒体において $KuV/k_B T$ を80~90以上とすることができる。また、シフト磁界 H_{sx} を1500Oe以上とするならば、 $KuV/k_B T$ を100以上とすることができる。このシフト磁界 H_{sx} の上限は、特に限定されないが、上述の保磁力の磁気記録媒体においては、2500Oeを超えるシフト磁界を得るのは困難である。非磁性金属スペーサ層4を構成する材料としては、Ru、Ir、Cu、Osから選ばれる1種以上の元素を含む合金であることが好ましい。これらの材料を非磁性金属スペーサ層4として用いることで、シフト磁界 H_{sx} を向上させることができる。また、本発明に係る非磁性金属スペーサ層4は、少なくともその界面に酸素及び/又は窒素が物理的に吸着されている。これらのガスを吸着させることで、本発明に係る磁気記録媒体10は、図4に示す

ように、より高いシフト磁界 H_{sx} を実現することができ、より熱的安定性に優れた磁気記録媒体とされている。非磁性金属スペーサ層4は膜厚が0.5nm以上1.0nm以下の範囲であることが好ましい。この範囲において、シフト磁界 H_{sx} が最大を示すためである。

【0033】以下に、上記の構成の磁気記録媒体10をスパッタ法により製造する場合について説明する。

(スパッタ法)本発明に係る磁気記録媒体10を製造する方法の一例であるスパッタ法として、例えば、基体1がターゲットの前を移動しながら薄膜が形成される搬送型スパッタ法と、基体1をターゲットの前に固定して薄膜が形成される静止型スパッタ法を例示することができる。前者の搬送型スパッタ法は、量産性が高いため、低コストな磁気記録媒体の製造に有利であり、後者の静止型スパッタ法は、基体1に対するスパッタ粒子の入射角度が安定なために、記録再生特性に優れた磁気記録媒体の製造が可能とされる。本発明に係る磁気記録媒体10を製造する際には、搬送型、静止型のいずれかに限定されるものではない。

【0034】本発明に係る磁気記録媒体10は、上述のスパッタ法により、基体1上に順次金属地下層2、強磁性金属層3(強磁性膜3a、非磁性金属スペーサ層4、強磁性膜3b)、及び保護膜5を成膜することで製造することができる。そして、本発明に係る製造方法により磁気記録媒体10を製造する場合、非磁性金属スペーサ層4の成膜中又は成膜後に、酸素及び/又は窒素を含む雰囲気中に基体1を配置し、少なくとも非磁性金属スペーサ層4と強磁性膜3a、3bとの界面に酸素及び/又は窒素を物理的に吸着させる処理を行う。この処理について以下に詳細に説明する。

【0035】非磁性金属スペーサ層4と、第2の強磁性膜3bとの界面のみに酸素及び/又は窒素を物理的に吸着させるには、非磁性金属スペーサ層4を成膜後、酸素および/または窒素を含む雰囲気中に非磁性金属スペーサ層4の表面を曝露することで表面に所定量の酸素や窒素を吸着させることができる。この曝露処理では、酸素や窒素の分圧、および曝露時間により非磁性金属スペーサ層4表面への吸着量を制御することが可能である。先に記載の材料により非磁性金属スペーサ層4を構成する場合には10L(ラングミュア:Langmuir)以上とすることが好ましい。ここで、1Lとは、 $1 \times 10^{-6} \text{ Torr}$ で1秒間曝露するか、 $1 \times 10^{-7} \text{ Torr}$ で10秒間曝露することを意味し、25Lとは $1 \times 10^{-6} \text{ Torr}$ で25秒間曝露するか、 $1 \times 10^{-7} \text{ Torr}$ で250秒間曝露することを意味する。尚、実際の製造における酸素や窒素の分圧、曝露時間は、非磁性金属スペーサ層4を構成する材料の酸素との親和力に応じて適宜最適な圧力や時間に設定すればよい。また、酸素や窒素を希ガスで希釈したガスを用いてもよい。

【0036】あるいは、非磁性金属スペーサ層4の成膜

に用いるガスとして、Ar又はこれ以外の希ガスに、酸素及び／又は窒素を添加した混合ガスを用いて成膜することにより、非磁性金属スペーサ層4の表面に酸素や窒素からなるガス成分を物理的に吸着させることができる。この方法では、非磁性金属スペーサ層4の内部にも酸素や窒素が取り込まれるために、過剰な酸素、窒素添加を行うと非磁性金属スペーサ層4を構成する材料によっては結晶性の低下や、酸化物、窒化物の生成が起こる場合がある。従って、酸素や窒素の添加量は、Arまたは希ガスとの混合ガスにおける分圧で、 10^{-7} Torr 以上 10^{-3} Torr 以下の範囲とすることが好ましい。さらに、前記混合ガスに含まれる酸素又は窒素の分圧は、 3×10^{-6} Torr 以上 3×10^{-1} Torr 以下とすることが好ましい。係る範囲とすることで、1500 Oe以上のシフト磁界を得ることができ、KuV/k_Tを100以上とすることができる。

【0037】本発明における「成膜に用いるArガスの不純物」としては、例えば、H₂O、O₂、CO₂、H₂、N₂、C₂H₄、H、C、O、CO等が挙げられる。特に、膜中に取り込まれる酸素量に影響する不純物は、H₂O、O₂、CO₂、O、COと推定される。従って、本発明の不純物濃度は、成膜に用いるArガス中に含まれているH₂O、O₂、CO₂、O、COの和で表すこととする。

【0038】また、基体1へのバイアス印加は、磁気記録媒体の保磁力を増大させる効果を奏する。この効果は、一層のみのバイアス印加よりも、二層又はそれ以上の層の成膜時にも印加した場合の方がより大きくなる傾向がある。

【0039】(媒体の表面粗さ、Ra)本発明における基体の表面粗さとしては、例えば、ディスク形状からな*

$$J_f(\text{erg/cm}^2) = 2 \frac{\pi^2}{\sqrt{2}} \frac{h^2}{L} M^2 \exp\left(-2\pi\sqrt{2} \frac{d_m}{L}\right) \left(1 - \exp\left(-2\pi\sqrt{2} \frac{d_{ox}}{L}\right)\right)^2$$

【0041】但し、上記(数1)において、 d_{ox} 及び d_m はそれぞれ非磁性金属スペーサ層4及び強磁性膜3a(3b)の膜厚を示している。

【0042】さらに、基体1が停止状態から回転を開始した場合、或いはその逆に回転状態から停止状態になった場合は、磁気記録媒体と磁気ヘッドの表面同士が接触および摺動する(CSS動作)。このとき、磁気ヘッドの媒体表面への吸着や摩擦係数の上昇を抑えるため、表面粗さRaは大きい方が好ましい。一方、基体が最大回転数に達した場合には、磁気記録媒体と磁気ヘッドの間隔、すなわち磁気ヘッドの浮上量をできるだけ小さい値に確保する必要があるため、Raは小さい方が好ましい。従って、基体1の表面粗さRaの最大値と最小値は、上述した理由と、磁気記録媒体による要求スベックから適宜決定される。

【0043】例えば、磁気ヘッドの浮上量が、24 μin

* 基体表面を、半径方向に測定した場合の、平均中心線粗さRaが挙げられる。表面粗さRaの測定器としては、原子間力顕微鏡(AFM)を用いることができる。本発明に係る磁気記録媒体においては、シフト磁界H_{ex}と媒体の非磁性金属スペーサ層4または媒体の表面粗さRaとの間には相関関係がある。非磁性金属スペーサ層4の表面粗さRaが低いほど、シフト磁界H_{ex}を大きくすることができる。これは、非磁性金属スペーサ層の界面粗さは、orange peel効果と呼ばれているNeelのモデルにより、強磁性層界面に磁極を発生し、磁性層磁化を平行にそろえようとする、強磁性的な静磁気結合をもたらすことが知られている(L. Neel: Comp. Rend. Acad. Sci., 255, 1545 (1962))。図5に、Neelモデルを説明するための説明図であり、強磁性金属層3の断面構造を模式的に示す図である。この図に示すように、下地層2上に形成された強磁性金属層3は、下地層2表面の凹凸形状に沿った形状に形成されている。さらに、磁性層厚を有限の厚さに拡張したKoolsらのモデル(J. C. S. Kools, W. Kula, D. Mauri and T. Lin: J. Appl. Phys., 85, 4466 (1999))を適用し、[数1]を用いて強磁性層間に働く強磁性的結合エネルギーJ_fを計算したものを図6に示す。ここで、膜は積層数が29の多層膜構造であり、強磁性層と非磁性金属スペーサ層の膜厚は1 nmと仮定した。図6から明らかなように、強磁性的結合エネルギーJ_fの大きさは結晶粒径Lと界面粗さhに依存している。従って、結晶粒径が同等であれば、界面粗さの減少は、磁性層間の強磁性的結合エネルギーJ_fを低減させ、磁性層間の反強磁性的結合エネルギーJ_{ax}を増大させ、シフト磁界H_{ex}の増大に繋がる。

【0040】

[数1]

ch(約0.6 μm)の場合は、Ra=6 nm~8 nmである。しかし、さらに高記録密度化を図るためには、磁気ヘッドの浮上量(記録再生動作をする際、磁気ヘッドが磁気記録媒体から離れている距離)をより小さくする必要がある。この要望に応えるためには、磁気記録媒体の表面をより平坦化することが大切となる。このような理由から基体の表面粗さRaは、より小さなものが望ましい。従って、基体の表面粗さがより小さな場合であっても、目標とする各種の膜特性を得られる作成方法を適宜採用すればよい。一例としてAl基板上にNi-P層を設けた構造の場合にテクスチャを設けた上でRaを1.5 nm以下にまで低減することがなされており、特別な研磨処理を施したNiP/Al基板でのRaを0.5 nm~0.7 nmとすることもできる。

【0044】(テクスチャ処理)本発明における基体に施すテクスチャ処理としては、例えば、機械的な研磨に

よる方法、科学的なエッチングによる方法、物理的な凹凸膜の付与による方法などが挙げられる。特に、磁気記録媒体の基体として最も広く用いられているアルミニウム合金基体の場合には、機械的な研磨による方法が採用されている。例えば、アルミニウム合金基体の表面に設けた(Ni-P)膜に対して、研削用の砥粒が表面に接着してあるテープを、回転する基体表面に押しつけることにより、同心円状に軽微なキズを付与する方法がある。この方法では、研削用の砥粒を、テープから遊離させて用いる場合もある。しかし、上記「基体の表面粗さ」の項で述べた理由から、上記テクスチャ処理を行わないか、若しくはより軽微なテクスチャ形状でも、目標とする各種の膜特性を得られる作成方法を適宜採用すればよい。

【0045】

【実施例】以下に試験例を挙げて本発明をより詳細に説明するが、本発明はこれらの試験例に限定されるものではない。

【0046】(試験例1)本試験例では、図1に示す非磁性金属スペーサ層4を備える磁気記録媒体成膜時の酸素(O_2)ガス分圧を 10^{-7} Torr $\sim 10^{-4}$ Torrの範囲で変化させて作製した。成膜法として直流マグネトロン法を用い、成膜室の到達真空度を 10^{-8} Torr台、プロセスガス中の不純物濃度を1ppb以下とした超清浄プロセスを用いて成膜を行った。その際、基体温度は放射加熱ヒータを用いて250℃とし、基体加熱後、Arガス圧2 \sim 5mTorrとして上記金属下地層、強磁性金属層、非磁性スペーサ層と保護層を成膜した。非磁性スペーサ層の成膜には、Arガスとともに酸素(O_2)ガスも微量に混ぜて行った。また、金属下地層および強磁性金属層の成膜時に基体へのバイアス印加およびドライエッチングは行わなかった。

【0047】本試験例では、基体として、表面を超平滑研磨($R_a < 0.3$ nm)され、テクスチャ処理されていないディスク状のNiPメッキAl基板を用い、下地膜形成用のターゲットとしてCrMo₂ターゲットを用い、第1と第2強磁性膜形成用のターゲットとしてCo-16at%Cr-8at%Pt-4at%Bターゲットを用いた。非磁性スペーサ層形成用のターゲットとしてRuターゲットを用いた。また、各層の膜厚は、下地膜5nm、第1強磁性膜2.5nm、第2強磁性膜9nm、非磁性金属スペーサ層0.8nm、保護膜6nmとした。

【0048】次に、上記にて得られた磁気記録媒体について、揺らぎ場 H_f (Oe)及び耐熱擾乱性の指標であるKuV/k_BTの測定を行った。その結果を図7及び図8に示す。図7及び図8に示すように、本発明に係る製造方法により製造された磁気記録媒体は、いずれも80以上のKuV/k_BTを有しており、熱的安定性に優れた磁気記録媒体であることが確認された。また非磁性金属スペーサ層4の成膜時の酸素分圧を高くするほど揺

らぎ場 H_f は低減され、KuV/k_BTは増加しており、より詳細には、非磁性金属スペーサ層4の成膜時の酸素分圧を 10^{-7} Torrとした試料($H_{ex} \approx 1100$ Oe)に比して、酸素分圧を 10^{-4} Torrとした試料($H_{ex} \approx 2000$ Oe)では、揺らぎ場が約30%低減され、KuV/k_BTは約22%増加している。また図7に示すように、酸素分圧を 3×10^{-8} Torr $\sim 3 \times 10^{-4}$ Torrの範囲とした場合に、100以上のKuV/k_BTが得られており、特に熱的安定性に優れた磁気記録媒体が得られることが確認された。そして、上記100以上のKuV/k_BTが得られる範囲では、強磁性膜の H_{ex} は1500Oe以上の高い値を示した。このように本発明に係る製造方法によれば、非磁性金属スペーサ層4の成膜時の酸素分圧を適切な範囲に設定することにより、さらに優れた熱的安定性を有する磁気記録媒体を製造できる。

【0049】尚、本試験例では金属下地層、強磁性金属層の成膜法として直流マグネトロンスパッタ法を用いたが、RFスパッタ法、レーザ蒸着法、イオンビーム成膜などの他の成膜法を実施しても良いのはもちろんである。

【0050】(磁気記録装置)次に、本発明に係る磁気記録装置を図面を参照して以下に説明する。図9は、本発明に係る磁気記録装置であるハードディスク装置の一例を示す側断面図であり、図10は、図9に示す磁気記録層の平衡断面図である。図8および図9において、50は磁気ヘッド、70はハードディスク装置、71は筐体、72は磁気記録媒体、73はスペーサ、79はスイングアーム、78はサスペンションである。本実施形態に係るハードディスク装置70は、先に記載の本発明の磁気記録媒体を搭載している。

【0051】ハードディスク装置70は、円盤状の磁気記録媒体72や、磁気ヘッド50などを収納する内部空間を備えた直方体形状の筐体71が外径を成しており、この筐体71の内部には複数枚の磁気記録媒体72がスペーサ73と交互にスピンドル74に挿通されて設けられている。また、筐体71にはスピンドル74の軸受け(図示せず)が設けられ、筐体71の外部にはスピンドル74を回転させるためのモータ75が配設されている。この構成により、全ての磁気記録媒体72は、スペーサ73によって磁気ヘッド50が入るための間隔を空けて複数枚重ねた状態で、スピンドル74の周回りに回転自在とされている。

【0052】筐体71の内部であって磁気記録媒体72の側方位置には、軸受け76によってスピンドル74と平行に支持されたロータリ・アクチュエータと呼ばれる回転軸77が配置されている。この回転軸77には複数個のスイングアーム79が各磁気記録媒体72の間の空間に延出するように取り付けられている。各スイングアーム79の先端には、その上下位置にある各磁気記録媒

体72の表面と傾斜して向かう方向に固定された、細長い三角板状のサスペンション78を介して磁気ヘッド50が取り付けられている。この磁気ヘッド50は、図示されていないが、磁気記録媒体72に対して情報を書き込むための記録素子と、磁気記録媒体72から情報を読み出すための再生素子を備えるものである。

【0053】上記構成によれば、磁気記録媒体72を回転させ、磁気ヘッド50をスイングアーム79の移動により磁気記録媒体72の半径方向に移動させることができるので、磁気ヘッド50は磁気記録媒体72上の任意の位置に移動可能となっている。上述した構成のハードディスク装置70では、磁気記録媒体72を回転させるとともに、スイングアーム79を移動させて磁気ヘッド50を磁気記録媒体72を構成している強磁性金属層に磁気ヘッド50が発生した磁界を作用させることにより磁気記録媒体72に所望の磁気情報を書き込むことができる。また、スイングアーム79を移動させて磁気ヘッド50を磁気記録媒体72上の任意の位置に移動させ、磁気記録媒体72を構成している強磁性金属層からの漏れ磁界を磁気ヘッドの再生素子で検出することにより磁気情報を読み出すことができる。

【0054】このように磁気情報の読み出しと書き込みを行う場合において、磁気記録媒体72の強磁性金属層が、先に説明した如く優れた規格化保磁力と熱安定性を有しているならば、ハードディスク装置70の内部がモータ75の熱を受けて、例えば、100℃を超える高い温度に加熱されつつ使用された場合であっても、磁気記録媒体72の強磁性金属層が劣化することがない。また、長期間使用し、長時間加熱されることがあっても、磁気記録媒体72の記録再生特性に劣化を生じないハードディスク装置70を提供することができる。

【0055】尚、図9、10を基に先に説明したハードディスク装置70は、磁気記録装置の一例を示すものである。磁気記録装置に搭載する磁気記録媒体の枚数は、1枚以上の任意の枚数で良く、搭載する磁気ヘッドの数も1個以上であれば任意の数設けてもよい。また、スイングアーム79の形状や駆動方式も図面に示すものに限らず、リニア駆動方式、その他の方式でも良いのはもちろんである。

【0056】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明によれば、磁気記録媒体の H_{sx} を向上することにより、高い記録再生特性 S/N 比と優れた熱安定性を有する磁気記録媒体を得ることができる。

【0057】また、前記優れた磁気特性を有する磁気記録媒体を備えた磁気記録装置であるならば、加熱状態で長時間使用しても磁気特性に劣化を生じることのない磁気記録装置を提供することができる。また、先の優れた磁気特性を有する磁気記録媒体を備えた磁気記録装置であるならば、 S/N 比が高く、記録再生特性に優れた磁気記録装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1は、本発明の一実施の形態である磁気記録媒体の断面構成図である。

【図2】 図2は、本発明に係る磁気記録媒体の他の構成例を示す断面構成図である。

【図3】 図3は、本発明に係る磁気記録媒体の磁化曲線の一例を示す図である。

【図4】 図4は、シフト磁界 H_{sx} の導出方法を説明するための説明図である。

【図5】 図5は、本実施形態の磁気記録媒体の強磁性金属層を拡大して示す説明図である。

【図6】 図6は、図5に示す平均結晶粒径 L と界面粗さ h が強磁性的相互作用 J_f に与える影響を示すグラフである。

【図7】 図7は、本発明の実施例における揺らぎ場 H_f の測定結果を示すグラフである。

【図8】 図8は、本発明の実施例における $K_u V/k_B T$ の測定結果を示すグラフである。

【図9】 図9は、本発明に係る磁気記録装置の断面構成図である。

【図10】 図10は、図9に示す磁気記録装置の一部断面を含む平面構成図である。

【図11】 図11は、磁気記録媒体の一例を示す斜視図である。

【図12】 図12は、図11に示す磁気記録媒体の断面構造を示す図である。

【符号の説明】

10、20 磁気記録媒体

1 非磁性基体

2 金属下地層

3 強磁性金属層

3a 第1の強磁性膜

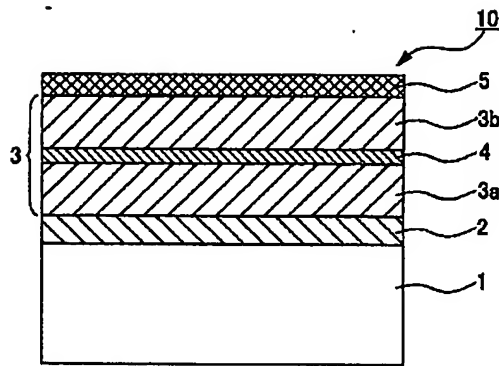
3b 第2の強磁性膜

3c 第3の強磁性膜

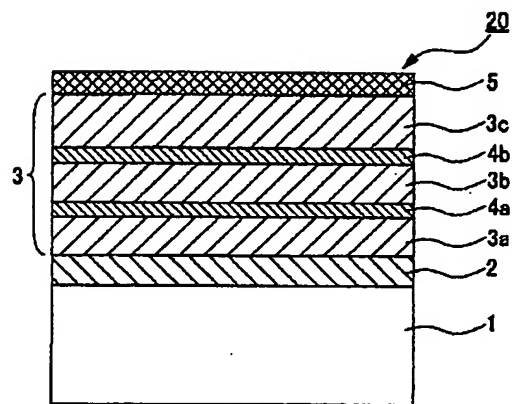
4、4a、4b 非磁性金属スペーサ層

5 保護膜

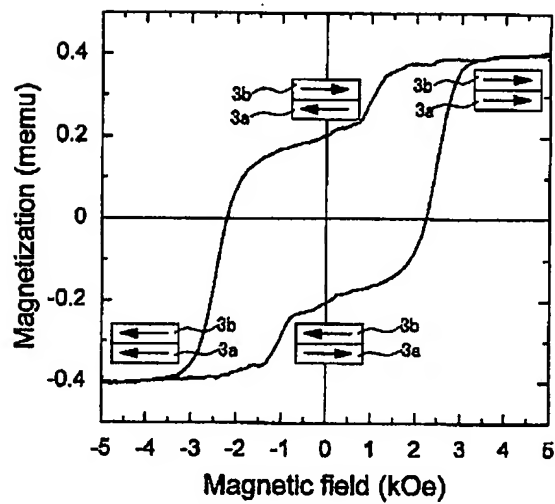
【図1】



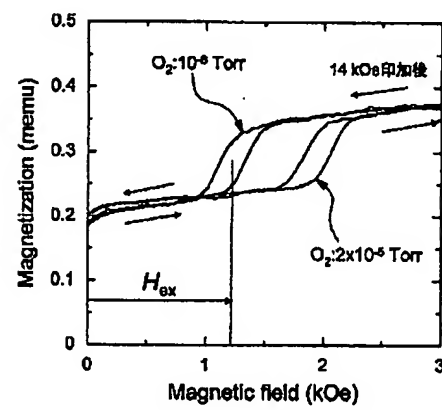
【図2】



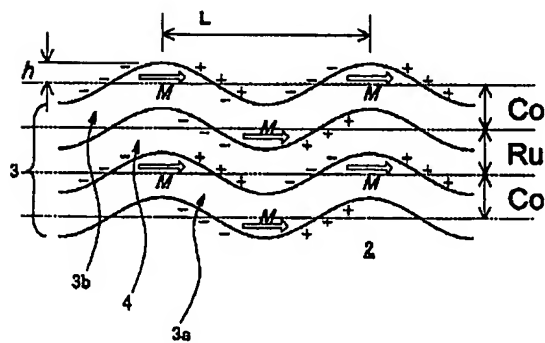
【図3】



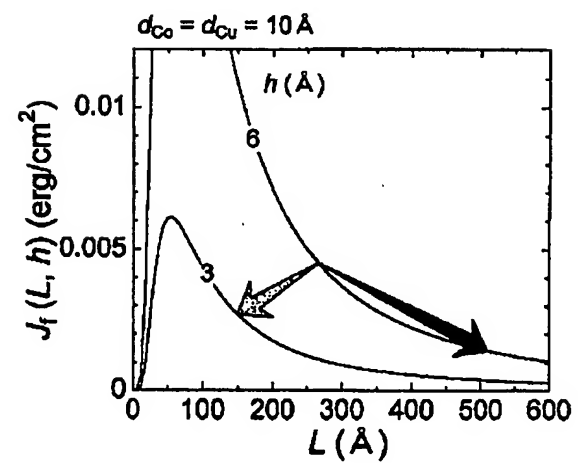
【図4】



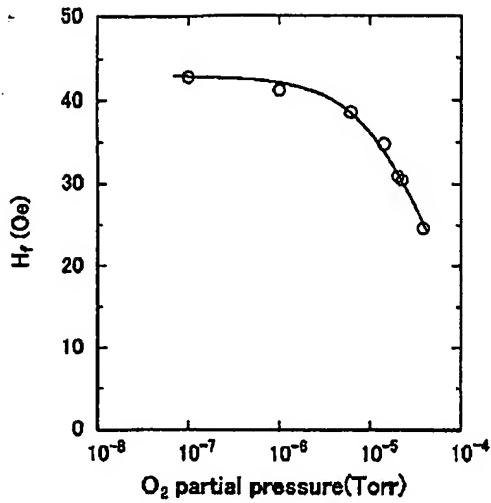
【図5】



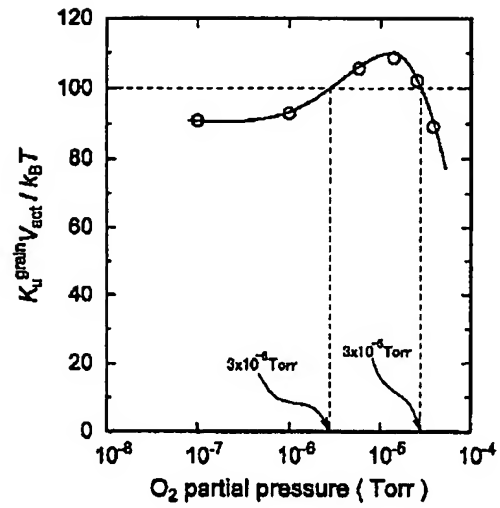
【図6】



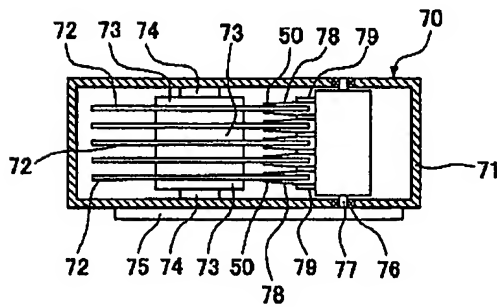
【図7】



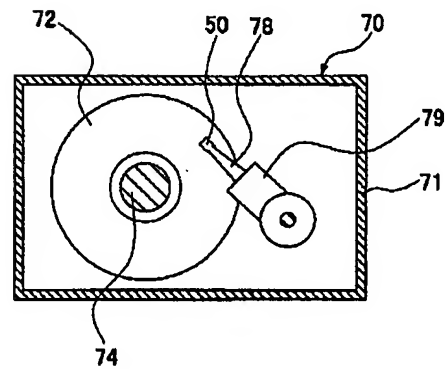
【図8】



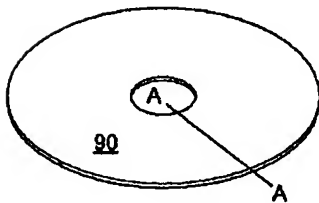
【図9】



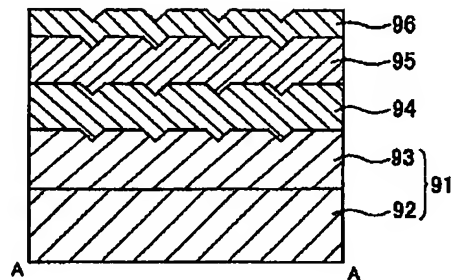
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(71)出願人 000231464
株式会社アルバック
神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地

(71)出願人 000002004
昭和電工株式会社
東京都港区芝大門1丁目13番9号

(74)上記1名の代理人 100075166

弁理士 山口 巖

(72)発明者 ダビッド ジャヤブラウィラ

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉05 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻内

(72)発明者 土門 宏紀

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉05 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻内

(72)発明者 吉村 哲

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉05 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻内

(72)発明者 高橋 研

宮城県仙台市太白区人來田2丁目20-2

Fターム(参考) 5D006 BB01 BB07 BB08 CA01 CA05

EA03 FA09

5D112 AA03 AA05 AA06 AA24 BB01

BD03 BD07 FA04 GA25

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.